

⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

⑪ N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 596 156**

⑫ N° d'enregistrement national :

**86 04081**

⑬ Int Cl<sup>4</sup> : G 01 N 29/00; A 61 B 8/00.

⑭

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑮ Date de dépôt : 21 mars 1986.

⑯ Priorité :

⑰ Demandeur(s) : *LABORATOIRES D'ELECTRONIQUE ET DE PHYSIQUE APPLIQUEE L.E.P., société anonyme. — FR.*

⑱ Inventeur(s) : Roger Henri Coursant.

⑲ Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 39 du 25 septembre 1987.

⑳ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

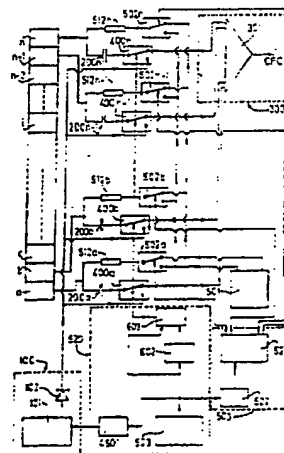
㉑ Titulaire(s) :

㉒ Mandataire(s) : Didier Lemoyne, Société civile S.P.I.D.

㉓ Echographe ultrasonore en matériau électrostrictif en réseaux de Fresnel approchés.

㉔ Echographe ultrasonore en réseaux de Fresnel approchés comprenant un réseau focalisant de  $n$  transducteurs ultrasonores et dans lequel les transducteurs ultrasonores (a, b, c, ..., i, ..., n-1, n) sont réalisés en un matériau électrostrictif à polarisation non rémanente, et ladite polarisation est réalisée par un étage de polarisation comprenant : 1 une source 501 de  $p$  tensions continues de polarisation, 2 un circuit de démultiplexage et d'aiguillage 502 recevant d'une part les  $p$  tensions de polarisation et d'autre part une combinaison de  $m$  bits sélectionnant lesdites tensions pour les fournir aux transducteurs, 3 un circuit de détermination de loi de phase 503 composé d'une mémoire 521 destinée à fournir les  $n$  combinaisons numériques respectives aux  $n$  démultiplexeurs, et 4 un séquenceur 520.

Application : Echographes utilisés en médecine.



FR 2 596 156 - A1

D

"ECHOGRAPHE ULTRASONORE EN MATERIAU ELECTROSTRICTIF EN RESEAUX DE FRESNEL APPROCHES".

La présente invention concerne un échographe ultrasonore en matériau électrostrictif en réseaux de Fresnel approchés, destiné notamment à être utilisé dans le domaine médical pour l'examen de tissus biologiques.

5 Le brevet des Etats-Unis d'Amérique déposé le 24 mai. 1954 et délivré le 24 février 1959 sous le n° 2 875 355 au nom de la société cessionnaire Gulton Industries décrit, comme il apparaît notamment de la colonne 1, ligne 64, à la colonne 4, ligne 13, un transducteur ultrasonore focalisant qui, pour permettre ladite  
10 focalisation, est composé de zones adjacentes polarisées de façon opposée. Les dimensions des zones sont choisies de façon que la succession des polarisations de signe opposé permette effectivement, selon le principe des réseaux zonés de Sauret, un décalage moyen d'une demi-longueur d'onde entre les trajets ultrasonores à partir de deux zones  
15 successives, la focalisation ainsi obtenue étant de type sphérique (voir les figures 2 à 5 du brevet cité) ou cylindrique (voir la figure 15 de ce même document).

La loi de phase correspondant à ce mode de polarisation est représentée sur la figure 1 de la présente demande. Cette  
20 loi de phase en tout ou rien est donc réalisée au moyen d'une loi de sensibilité à deux états de polarité opposée.

Un inconvénient d'un tel dispositif est de créer une inhomogénéité dans la focalisation par l'obtention de foyers harmoniques avec comme conséquence un renforcement du bruit de fond ultrasonore.

25 Le but de l'invention est de proposer un appareil d'examen de milieux remédiant à cet inconvénient.

L'invention concerne à cet effet un échographe ultrasonore en réseaux de Fresnel approchés comprenant un réseau focalisant de n transducteurs ultrasonores associé à un étage d'émission pour  
30 l'émission répétée d'ondes ultrasonores vers la région à explorer et à un étage de réception pour le traitement des échos reçus en retour, caractérisé en ce que :

(A) les transducteurs ultrasonores sont réalisés en un matériau électrostrictif à polarisation non rémanente;

(B) ladite polarisation est réalisée par l'intermédiaire d'un étage de polarisation composé des circuits suivants :

- 5 (1) une source de  $p$  tensions continues de polarisation;
- (2) un circuit de démultiplexage et d'aiguillage, composé de  $n$  démultiplexeurs recevant chacun d'une part les  $p$  tensions continues de polarisation et d'autre part une combinaison de  $m$  bits sélectionnant l'une desdites tensions, et fournissant ladite tension
- 10 sélectionnée, par l'intermédiaire d'une résistance de polarisation en série, au transducteur ultrasonore associé respectivement à ce démultiplexeur;
- (3) un circuit de détermination de la loi de sensibilité correspondant à deux états de phase et à  $p/2$  ou  $(p+1)/2$  états
- 15 d'amplitude selon la parité de  $p$ , composé notamment d'une mémoire, destinée à fournir aux  $n$  démultiplexeurs  $n$  combinaisons numériques respectives et indiquant à chaque démultiplexeur celle des tensions continues qu'il doit sélectionner pour la polarisation du transducteur qui lui est associé;
- 20 (4) un séquenceur comprenant essentiellement un circuit d'horloge destiné à fixer la durée des périodes d'émission et de réception.

Dans l'appareil ainsi proposé, l'utilisation de transducteurs en matériau électrostrictif et la polarisation de ceux-ci

25 à l'aide d'un étage de polarisation de structure originale permettent de réaliser une focalisation très précise à l'aide de circuits électro-

20 niques simplifiés. En effet, la loi de phase théorique à laquelle correspondrait l'obtention exacte de réseaux zonés de Fresnel, c'est à dire une focalisation parfaite avec l'exacte progressivité nécessaire

30 des décalages entre transducteurs successifs, est représenté sur la figure 2. L'utilisation de l'étage de polarisation selon l'invention permet alors d'imposer à chaque transducteur du réseau, dans chacun de ses deux états possibles de polarité opposée, une loi de variation

35 discrète d'amplitude permettant de réduire l'inconvénient mentionné plus haut de la focalisation approximative à deux états de phase. Plus précisément, la focalisation ainsi obtenue est d'autant plus voisine de celle qui est théoriquement nécessaire que le nombre  $p$  de tensions

continues de polarisation , positives ou négatives, fournies par la source de tensions continues pour obtenir ces différentes amplitudes est plus élevé.

5 Dans le cas d'un échographe ultrasonore selon l'invention, du type à balayage séquentiel, constitué par une barrette linéaire de  $n$  transducteurs ultrasonores, ledit circuit de détermination de la loi de sensibilité comporte également un compteur dont le nombre d'états correspond au nombre de directions parallèles différentes dans lesquelles on veut opérer un examen avec focalisation des ondes ultra-  
10 sonores, et ledit circuit d'horloge fixe le rythme de changement d'état des compteurs.

Toujours dans le cas d'un échographe à balayage séquentiel, il est également prévu que, le nombre de transducteurs consécutifs participant à un même tir étant  $q$ , les tensions de polari-  
15 sation des  $n-q$  autres transducteurs sont égales à zéro.

Les particularités et avantages de l'invention apparaîtront maintenant de façon plus détaillée dans la description qui suit et dans les dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, et dans lesquels :

- 20 - les figures 1 et 2 sont des courbes  $P = f(D)$  où  $P$  représente la phase et  $D$  la distance considérée à partir de la partie centrale du réseau de transducteurs, montrant respectivement une loi de phase simplifiée qui permet l'obtention de réseaux zonés de Sauret à l'aide d'un réseau de transducteurs à deux états de polarisation, et  
25 la loi de phase théorique de Fresnel qui en permet l'obtention exacte. La loi de phase simplifiée peut être obtenue en considérant une loi de sensibilité  $S = f(D)$  à 2 états variant identiquement suivant  $D$ ,
- la figure 3 montre un exemple de réalisation de l'appareil selon l'invention,  
30 - les figures 4a à 4d sont des diagrammes temporels montrant respectivement l'allure du signal périodique (tension électrique) définissant la cadence des cycles d'émission-réception, l'allure du signal périodique retardé réellement fourni au générateur d'excitation électrique des transducteurs, l'allure du signal périodique fixant la  
35 durée de l'émission dans le cycle d'émission-réception, et l'allure de la tension électrique aux bornes de l'un des transducteurs ultrasonores

dans le cas d'un changement de polarité et donc de phase à l'instant dit  $t_3$  ;

- la figure 5 montre l'allure de la loi de sensibilité qui peut être obtenue si l'on dispose de cinq tensions continues de polarisation possibles et qui permet de réaliser une loi de phase à deux états et une loi d'amplitude à trois états.

- la figure 6 montre un exemple de démultiplexeur dans ce cas d'une loi de sensibilité à cinq états de polarisation possibles.

L'appareil selon l'invention comprend, en référence à la figure 3, d'une part un réseau de  $n$  transducteurs ultrasonores, par exemple 32 ou 64, et réalisés en un matériau électrostrictif à polarisation (ferroélectrique) non rémanente (c'est à dire un matériau dont la sensibilité de transduction est directement liée à la valeur de tension de polarisation qui lui est appliquée et s'annule en même temps que celle-ci), par exemple des céramiques dopées de niobate de plomb et de magnésium telles que celles décrites dans l'article de S.J. Jang et al., IEEE Ferroelectrics Symposium, vol. 27, 1980, pp 31-34. L'appareil comprend également un étage d'émission 100, composé d'un générateur d'excitation électrique 101 et d'une diode 102 en série avec celui-ci pour placer ledit étage d'émission sous haute impédance par rapport aux éléments transducteurs,  $n$  condensateurs 200a à 200n en parallèle interposés entre la sortie de l'étage d'émission et chacun des  $n$  transducteurs, et un étage de réception 300, composé d'un sommateur 301 recevant les  $n$  signaux de réception délivrés par les  $n$  transducteurs et d'un circuit classique de traitement CPC de signal échographique comprenant ici par exemple un amplificateur, un circuit de contrôle automatique de gain, et un dispositif de mémorisation et/ou de visualisation. Des commutateurs 400a à 400n placés entre la sortie de l'étage d'émission 100, les condensateurs 200a à 200n et les  $n$  entrées du sommateur 301 de l'étage de réception, permettent la séparation des étages d'émission et de réception, ces commutateurs basculant au rythme du signal périodique de la figure 4c décrite ci-après, et évitent notamment l'aveuglement de l'étage de réception par l'étage d'émission.

L'appareil comprend enfin un étage de polarisation composé d'une source de tensions de polarisation 501, d'un circuit de démultiplexage et d'aiguillage 502, d'un circuit de détermination de la

loi de sensibilité 503, et d'un séquenceur 520. La source 501 de tensions de polarisation est capable de délivrer  $p$  tensions continues de polarisation distinctes, positives ou négatives, correspondant aux  $p$  états possibles de polarisation que l'on veut imposer aux  $n$  transducteurs électrostrictifs. Dans un exemple particulier de réalisation, on supposera qu'il y a seulement deux états possibles de polarisation, correspondant par exemple à deux tensions de polarisation de +500 volts et de -500 volts, mais l'invention s'applique de façon identique lorsqu'on impose aux  $n$  transducteurs une loi de sensibilité à  $p$  états, pour permettre une focalisation plus précise comme on l'a vu plus haut.

Le circuit de démultiplexage et d'aiguillage 502 comprend  $n$  démultiplexeurs 502a à 502n, qui reçoivent chacun d'une part les  $p$  tensions de polarisation possibles (dans l'exemple décrit,  $p = 2$ , et les démultiplexeurs se réduisent alors à de simples commutateurs) fournies par la source 501 et d'autre part une combinaison de  $m$  bits fixant pour le transducteur électrostrictif concerné celle des  $p$  tensions continues de polarisation qu'il va recevoir et fixant aussi par conséquent la sensibilité de ce transducteur. Si  $p = 2$ , il suffit que  $m = 1$  pour exprimer deux états possibles; si  $p = 3$  ou  $p = 4$ ,  $m = 2$  permet d'exprimer les trois, ou quatre, états correspondants, et ainsi de suite. Le circuit de démultiplexage et d'aiguillage 502 prévoit en sortie des  $n$  démultiplexeurs 502a à 502n un nombre égal de résistances 512a à 512n à l'entrée des  $n$  branches menant aux  $n$  transducteurs (dans l'exemple décrit, la valeur de ces  $n$  résistances de polarisation a été choisie égale à 1000 ohms environ).

Le circuit 503 de détermination de la loi de sensibilité permet de fixer la combinaison de  $m$  bits sélectionnant la tension de polarisation imposée distinctement à chacun de ces transducteurs. Cette combinaison numérique associée à la loi de sensibilité correspondante est délivrée par une mémoire 521, par exemple de type ROM ou PROM, préalablement chargée avec les valeurs correspondant à la meilleure expression possible de ladite loi de sensibilité, compte tenu du nombre de tensions de polarisation distinctes fournies par la source 501. Cette mémoire est reliée à un compteur 522 dont le nombre d'états est, dans le cas d'une barrette à balayage séquentiel, le nombre de directions parallèles différentes voulu et dont l'entrée est à son tour commandée

par un circuit d'horloge 523, délivrant le signal représenté sur la figure 4a : la période  $d_1$  du signal périodique ainsi délivré correspond à la durée d'un cycle d'émission-réception ultrasonore pour une direction parallèle déterminée.

5 Ce circuit d'horloge 523 fait partie du séquenceur 520 et commande non seulement le compteur 522 mais aussi, dans le séquenceur, des circuits à retard 601 et 602. Le circuit à retard 601, placé entre le circuit d'horloge 523 et le générateur d'excitation électrique 101, apporte au signal de la figure 4a un retard  $T_1$  (voir  
10 sur la figure 4b le nouveau signal ainsi engendré) qui correspond au temps de récupération nécessaire pour déclencher l'émission d'ondes ultrasonores lorsque la polarisation des transducteurs est effective. Le circuit à retard 602 fixe la durée  $d_2$  de fonctionnement en mode émetteur. L'impulsion de durée correspondante, représentée sur la  
15 figure 4c, et de période de répétition égale à celle des impulsions de durée  $d_1$  de la figure 4a (par exemple 1 milliseconde dans l'exemple considéré) est délivrée par une bascule bistable 603 dont les entrées sont l'une reliée directement à la sortie du circuit d'horloge 523, par exemple pour la venue au niveau supérieur de l'impulsion, et  
20 l'autre reliée à cette même sortie mais par l'intermédiaire du circuit à retard 602 pour le basculement inverse (le retour au niveau inférieur de l'impulsion dans l'exemple considéré). C'est ce signal périodique de la figure 4c qui est envoyé vers les commutateurs 400a à 400n insérés entre les étages d'émission et de réception 100 et 300, afin d'assurer  
25 la commande automatique du fonctionnement de l'appareil d'examen en mode d'émission ou en mode de réception.

La figure 4d montre l'allure de la tension électrique aux bornes d'un transducteur, dans le cas d'une loi de sensibilité à deux états concrétisée par l'existence de deux tensions de polarisation  
30 possibles. On a mis en évidence sur cette figure 4d le temps de retard  $T_1$ , correspondant au temps de récupération nécessaire avant le déclenchement effectif de l'émission d'ondes ultrasonores, la durée  $d_1$  d'un cycle d'émission-réception, et la durée  $d_2$  du fonctionnement en mode émetteur, et on a fait apparaître sur le signal électrique d'excitation  
35 des échos en provenance de la structure examinée.

L'invention, décrite par souci de simplification pour une loi de sensibilité à deux états, est applicable dans le cas

tout à fait général d'une loi à p états, et cette application va être succinctement présentée ci-dessous.

La loi de phase théorique à laquelle correspondrait une focalisation parfaite a été représentée sur la figure 2 et sa traduction analytique est donnée par l'expression  $y = \cos \alpha x^2$  où  $\alpha = \pi / (\lambda \cdot f)$  ( $\lambda$  étant la longueur d'onde associée à la fréquence des ondes ultrasonores engendrées, c'est à dire à la fréquence de travail des transducteurs, et f étant la distance focale). Une loi de phase à deux états constitue une approximation d'autant meilleure que la loi d'amplitude qui lui est associée comporte plus de niveaux de quantification et permet donc de réduire d'autant mieux l'effet des foyers harmoniques. Si l'on choisit par exemple  $p = 5$  c'est à dire cinq niveaux de sensibilité correspondants à une loi de phase à deux états et une loi d'amplitude à trois états. Cette loi de sensibilité est représentée par la courbe de la figure 5. Les circuits de l'étage de réception sont alors naturellement un peu plus complexes que dans l'exemple précédemment décrit. D'une part, la source de tensions de polarisation doit maintenant délivrer quatre tensions continues  $V$ ,  $V/2$ ,  $-V/2$ ,  $-V$ , la tension nulle à laquelle correspond le cinquième état de polarisation étant obtenue par simple mise à la masse. D'autre part le mot mémoire correspondant à un état quelconque de polarisation et transmis de la mémoire 521 à l'un quelconque 502i des démultiplexeurs est plus long, ce qui implique une capacité mémoire plus importante. On pourra pour cinq états choisir par exemple des mots de 3 bits : 000 pour  $V$ , 001 pour  $V/2$ , 010 pour 0 volt, 011 pour  $-V/2$ , 100 pour  $-V$ , les n mots adressés respectivement à chacun des n démultiplexeurs 502a à 502n du circuit de démultiplexage et d'aiguillage 502 étant choisis parmi ces cinq expressions, et le triplet binaire ABC constituant ces mots étant adressé à chaque démultiplexeur selon le schéma de la figure 6.

Lorsqu'une barrette linéaire de transducteurs est utilisée en balayage séquentiel, on sait que seul un nombre déterminé q de transducteurs participent à un même tir, les n-q autres étant généralement mis à la masse. Le balayage s'effectue alors en décalant de un la position des q transducteurs. Le dispositif décrit présente l'avantage d'éviter la mise à la masse des n-q transducteurs inutilisés en décidant d'appliquer à tous les n transducteurs une tension de polari-



sation, celle-ci étant nulle pour lesdits n-q transducteurs dont l'état est déterminé par un mot mémoire particulier prédéfini.

L'invention ne saurait être limitée aux seuls modes de réalisation décrits en relation avec une barrette linéaire  
5 de transducteurs. Il est bien entendu qu'elle pourrait être mise en oeuvre pour tout autre type d'échographe ultrasonore, notamment les échographes annulaires dans lesquels les transducteurs ont la forme d'anneaux circulaires, elliptiques ou autres.

10

15

20

25

30

35

REVENDECATIONS :

1. Echographe ultrasonore en réseaux de Fresnel appro-  
chés comprenant un réseau focalisant de  $n$  transducteurs ultrasonores  
associé à un étage d'émission (100) pour l'émission répétée d'ondes  
5 ultrasonores vers la région à explorer et à un étage de réception (300)  
pour le traitement des échos reçus en retour, caractérisé en ce que :
- (A) les transducteurs ultrasonores ( $a, b, c, \dots, i, \dots, n-1, n$ ) sont réalisés en un matériau électrostrictif à polarisation non rémanente;
- 10 (B) ladite polarisation est réalisée par l'intermédiaire d'un étage de polarisation composé des circuits suivants :
- (1) une source (501) de  $p$  tensions continues de polarisation;
- (2) un circuit de démultiplexage et d'aiguillage  
15 (502), composé de  $n$  démultiplexeurs (502a à 502n) recevant chacun d'une part les  $p$  tensions continues de polarisation et d'autre part une combinaison de  $m$  bits sélectionnant l'une desdites tensions, et fournissant ladite tension sélectionnée, par l'intermédiaire d'une résistance de polarisation en série (512a à 512n), au transducteur  
20 ultrasonore associé respectivement à ce démultiplexeur;
- (3) un circuit de détermination de la loi de sensibilité (503), correspondant à deux états de phase et à  $p/2$  ou  $(p+1)/2$  états d'amplitude selon la parité de  $p$ , composé notamment d'une mémoire (521), destinée à fournir aux  $n$  démultiplexeurs  $n$  combinaisons  
25 numériques respectives et indiquant à chaque démultiplexeur celle des tensions continues qu'il doit sélectionner pour la polarisation du transducteur qui lui est associé;
- (4) un séquenceur (520), comprenant essentiellement un circuit d'horloge (523) destiné à fixer la durée des périodes  
30 d'émission et de réception.
2. Echographe ultrasonore selon la revendication 1, du type à balayage séquentiel, constitué par une barrette linéaire de  $n$  transducteurs ultrasonores, caractérisé en ce que ledit circuit de détermination de la loi de sensibilité comporte également un compteur  
35 dont le nombre d'états correspond au nombre de directions parallèles différentes dans lesquelles on veut opérer un examen avec focalisation des ondes ultrasonores, et en ce que ledit circuit d'horloge fixe

le rythme de changement d'état de compteur.

3. Echographe ultrasonore selon la revendication 2, caractérisé en ce que, le nombre de transducteurs consécutifs participant à un même tir étant  $q$ , la tension de polarisation des  $n-q$  autres transducteurs sont égales à zéro.

4. Echographe ultrasonore selon la revendication 1, caractérisé en ce que les  $n$  transducteurs ultrasonores sont de type annulaire.

10

15

20

25

30

35

FIG.1

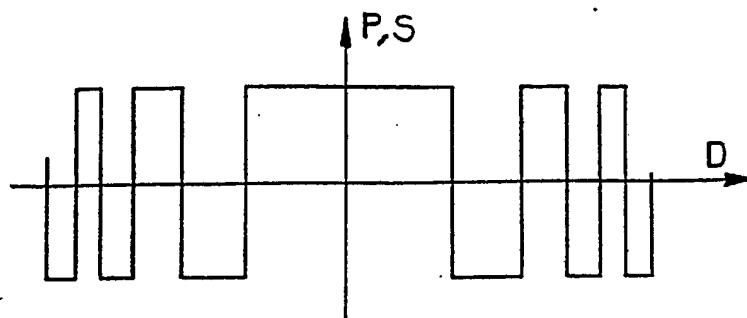


FIG.2

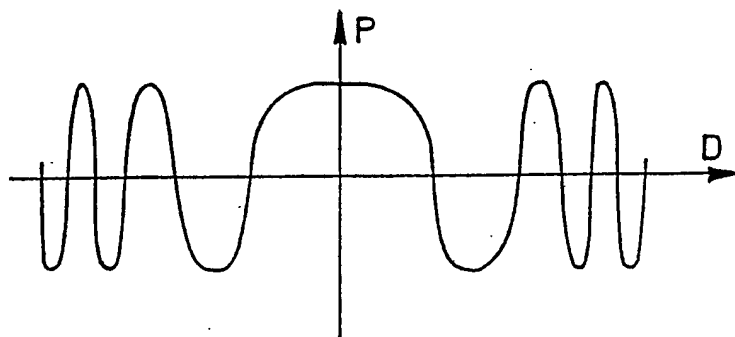


FIG.5

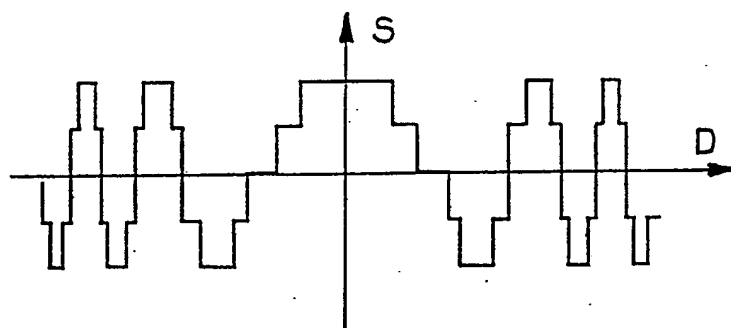


FIG.6

